



## パーソナル・スタジオ設計の音響学 その25 特別編「音響設計実践道場」1/1の世界で音響設計！ ～第六回 Focal のチーム力～

### 位相の不一致は性格の不一致

(中原雅考)

Focal ファミリーの「音響ダブレット」現象を大量に観察して頂いた隊員の皆さん。

マルチウェイスピーカーでは  
音響ダブレット現象＝クロスオーバー周波数近辺における指向性の変化  
ということが理解できたのではないのでしょうか。

さて今回は  
クロスオーバーに関する第二弾「位相変化」を隊員の皆さんに検証して頂きましょう。

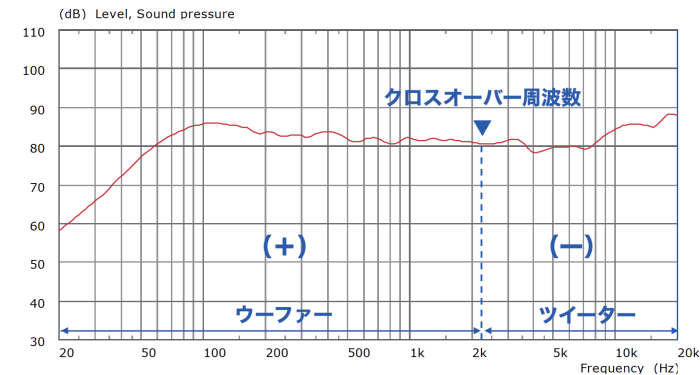
●  
マルチウェイスピーカーのクロスオーバーネットワークは  
高域をカットしてウーファーに低域信号だけを流す  
低域をカットしてツイーターに高域信号だけを流す  
といったように目的外の周波数の信号をカットするフィルターで構成されています。  
カットのやり方はフィルターの種類によって様々ですが  
多くのフィルターは逆相の音をつくり出して信号にぶつけることで音をカットしています。  
そのため多くのマルチウェイスピーカーには  
カットオフ周波数の前後で信号の位相が変化するクロスオーバーネットワークが用いられています。  
(直線位相の FIR デジタルフィルターは位相変化なしで音をカットできます。)

●  
例えば【図 1】の赤線のような振幅特性(音の大きさ)をもつ2ウェイスピーカー(以下、2way)があるとしましょう。  
この時、スピーカーに内蔵されているクロスオーバーフィルターの種類によっては  
再生信号の位相がクロスオーバー周波数の前後でプラス(+)からマイナス(-)に逆転してしまうことになります。  
次に、同様なクロスオーバーフィルターで構成された3ウェイスピーカー(以下、3way)があるとしましょう(【図 2】)。  
振幅特性だけをながめれば、【図 1】と【図 2】の組み合わせは問題ない様に思います。

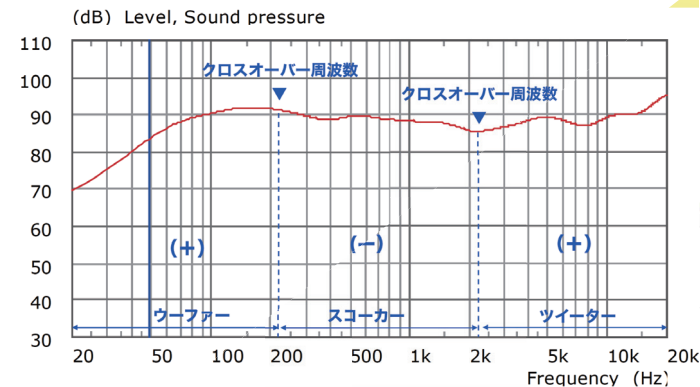
ところが、位相特性を眺めると如何でしょう？  
(+)と(+), (-)と(-)の重なり合いはOKですが  
(+)と(-)が重なる周波数帯域は？  
お互いがお互いの音を打ち消してしまいそうな気がしますね。  
ということは

【図 1】のスピーカーと【図 2】のスピーカーから同じ音を再生すると  
言い換えれば…パンを振ってファンタム音像を生成すると  
ある帯域がごっそりとなくなった音になってしまいそうということが予想できます。

●  
スピーカーにとって「位相の不一致は性格の不一致」です。  
位相干渉の様子はクロスオーバーフィルターの種類やクロスオーバー周波数の違いによって変わります。  
Focal ファミリーの相性はどうなのでしょう？  
早速、隊員のみなさんに、前回測定して頂いた Focal 各種の相性判断を行って頂くことにしましょう。



【図 1】2way スピーカーとクロスオーバーの位相例



【図 2】3way スピーカーとクロスオーバーの位相例

2019年No.20号から始まった実践道場編。今回で6回目になりますが、実はこの4π再生環境を導入する「吹き抜けのある空間」とは…本誌で特集されている - MIL Studio - のことでした！前は Focal のインウォールタイプのスピーカー全17種類の測定をして、個々の音響軸とカバーエリアの比較をしました。今回はファミリー同士の相性を見比べてみて、組み合わせの可能性を探っていきます。

えりっこ隊長(以下、え)：みんな、集合！ずっと「吹き抜けのある空間」と呼んでいたスタジオ - MIL Studio - が、ついにお披露目されたいよ！

一同：パチパチパチ(拍手)

りっこ隊長(以下、り)：Dr. 中原からは前回測定した Focal のスピーカー17種類の相性をみるってお題が出るけど、まずは MIL Studio にインストールされたスピーカーの相性を見ない？

まっつん隊員(以下、ま)：賛成でゲス！えーっと、インストールされているのは 1000 IWLCR UTOPIA、1000 IWLCR6、1000 IW6、300 IWLCR6 の4種類でゲス。

イケイケ・イケウチ製麺隊員(以下、イケ麺)：同軸はないようだけど、2wayと3wayが混ざってるんですね。

り：一番多くインストールされているのが 1000 IWLCR6 だから、それと残り3種類との相性を試しに見てみましょうか。

イケ麺：前回の測定データから合成特性を計算してみました！(【図 3】【図 4】【図 5】) 純粋に個々の測定データを足し合わせた合成特性を「測定値」、現実空間の位相の影響を無視して足し合わせた合成特性を「理想値」として色分けしてます。

イーディーデ IDE 隊員(以下、イーデ)：3way 同士の【図 3】【図 5】は理想値と測定値がほぼ重なって見えるデス！相性ぴったりやな。

イケ麺：3way の 1000LCR6 と 2way の 1000IW6 の相性(【図 4】)を見ると、200Hz～2.2kHz あたりで理想値と測定値の差が目立ちますね。

イーデ：ちょうどクロスオーバー周波数の間やデス。これが Dr. 中原の言った位相干渉ってやつやな。

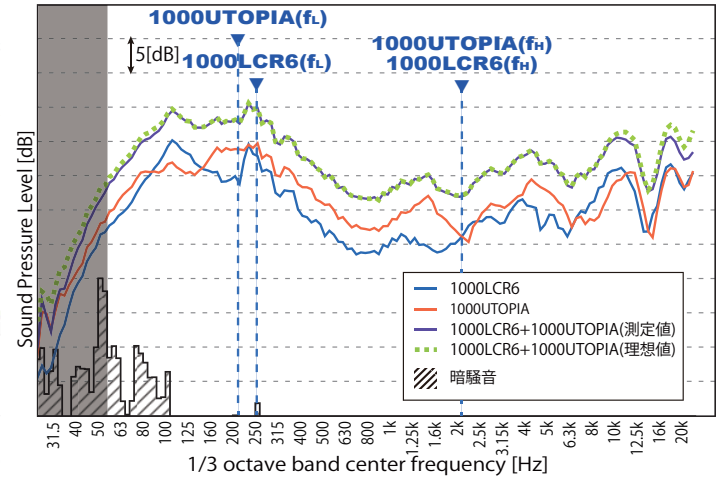
ま：1000LCR6 と 300LCR6 のクロスオーバー周波数は低域も高域も微妙にずれているけど、理想値と大きなズレはないんでゲスね。(【図 5】)

え：確かにそうね。この程度の差は影響しないのかな。みんな、そろそろ他のスピーカーの相性も気になってきたんじゃない？

り：よーし、じゃあ残りの組み合わせも一気にやっちゃって！

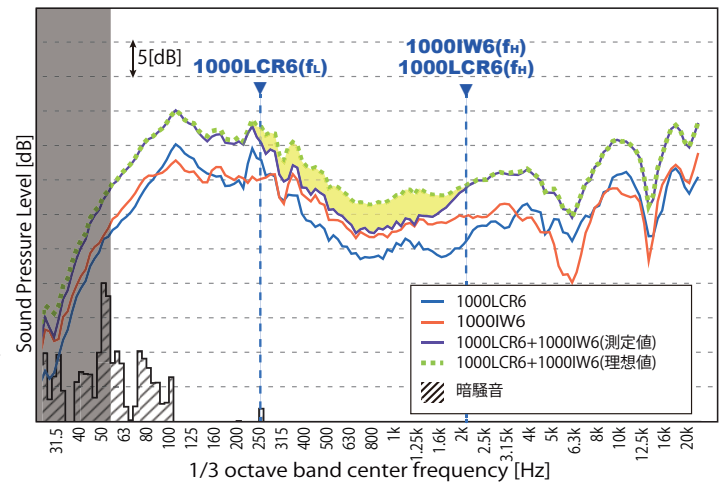
ま：姉さん、簡単に言ってるけどすごい数でゲス(136組)・・・。

イーデ：前回の全種測定に比べたら楽勝やデス♪



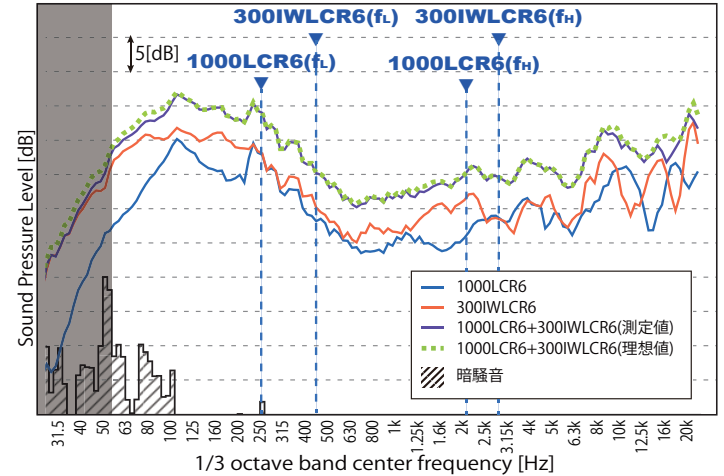
【図 3】1000 IWLCR6 と 1000 IWLCR UTOPIA の相性

青は LCR6、赤は UTOPIA の特性を示します。個々の特性を足し合わせた合成特性を紫(測定値)、位相干渉を無視した理想的な特性を緑の点線(理想値)で表しました。青い点線はそれぞれのモデルのクロスオーバー周波数を表します。3way なので各2カ所です。



【図 4】1000 IWLCR6 と 1000 IW6 の相性

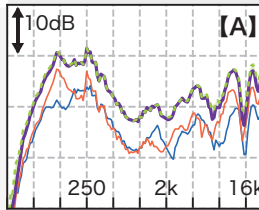
青の LCR6 は 3way、赤の IW6 は 2way です。理想値と測定値の差をみると 200Hz～2.2kHz 付近で測定値の特性が凹む結果に！



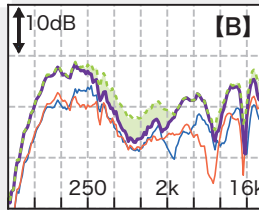
【図 5】1000series IWLCR6 と 300series IWLCR6 の相性



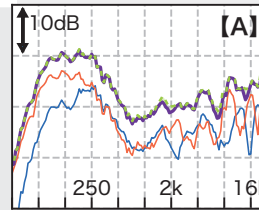
**1 1000 IW LCR UTOPIA**  
3-way in-wall speaker



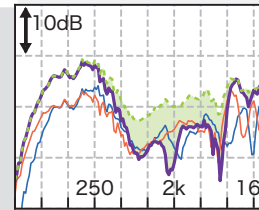
**2 1000 IW LCR 6**  
3-way in-wall speaker



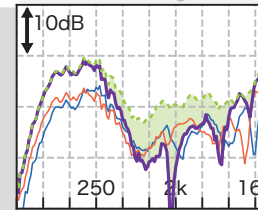
**4 300 IW LCR 6**  
3-way in-wall speaker



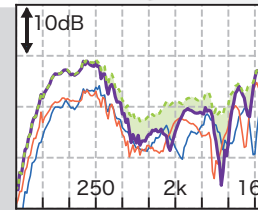
**5 300 IW 6**  
2-way in-wall speaker



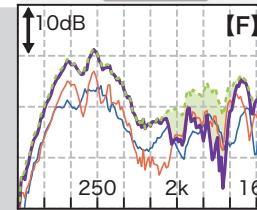
**6 100 IWLCR 5**  
2-way in-wall speaker



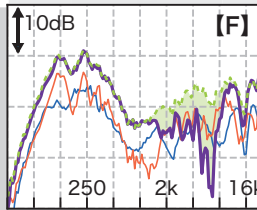
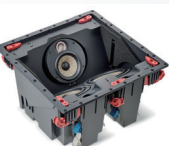
**7 100 IW 6**  
2-way in-wall speaker



**8 1000 IC LCR 5**  
3-way angled in-ceiling speaker



**9 300 IC LCR 5**  
3-way angled in-ceiling speaker



え：総当たり戦の結果発表！（今回は誌面の都合上 9 種 x13 種をピックアップ。）  
青が左、赤が上のスピーカーの特性、紫は青と赤を足し合わせた測定値を表しています。緑の点線（理想値）との差に注目よ！

ま：【図 3】で予習したとおり **1+2**、**1+4**、**2+4** は理想値と測定値が重なっている！  
3way 同士相性がばっちりです。スピーカーの設計思想や位相特性が似ているのかな【A】。

イケ麺：**1+3**、**2+3** は【図 4】で見たとおり、200Hz～2.2kHz あたりに位相干渉しきへこみがあります【B】。  
**3+4** は 3way+2way だけど相性が良さそうです。1kHz 辺りが少し凹んでますね【C】。  
形状の似ているものを見ると **3+5** と **3+7** は 2way 同士だけど 2kHz 以上で干渉が見られます。**5+7** はハイエンドまでぴったり。この 3 モデルは前号で指向特性が独特でしたよね。何か関係が・・・？【D】

イーデ：**6** は 3way のような顔をしてしているんやけど実は 2way。**5+6** と **6+7** は 2way 同士で相性が良さそうやデス【E】。

隊員たちが周波数特性について盛り上がっているところではありますが、ここで皆様に重要なポイントをお伝えします。  
【注】今回ご紹介しているグラフでは、スピーカーの再生特性のピーク・ディップが激しいように見えますが、これはスピーカー本来の特性ではありません。測定した環境（部屋の特性や測定位置による微妙な時間差）が大いに影響しています。隊員たちが工夫して測定してくれているものの手作り実験室での測定ですので、なにとぞご容赦くださいませ・・・。  
えりっこ隊長も言っているように、ここでは測定値（紫）と理想値（緑の点線）の差分に注目していきましょう。「理想値」とは、現実空間の位相の影響を無視して青の特性と赤の特性を数学的に足し合わせた合成特性のことを指しています。

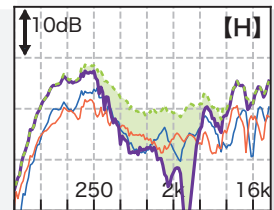
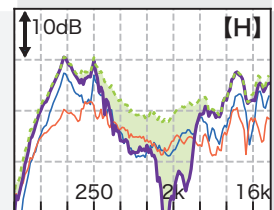
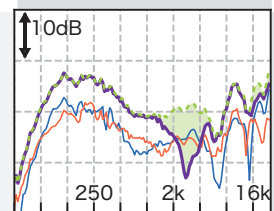
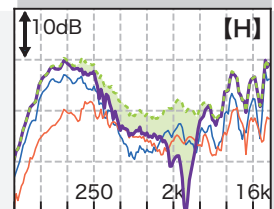
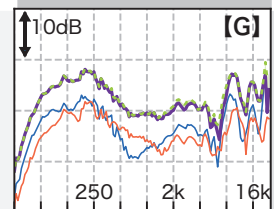
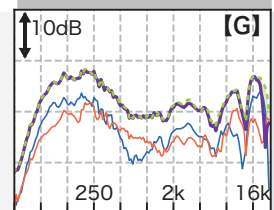
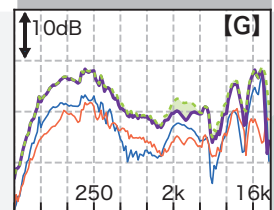
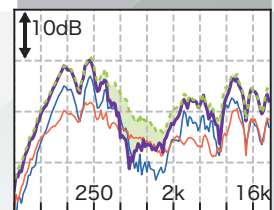
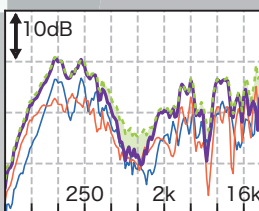
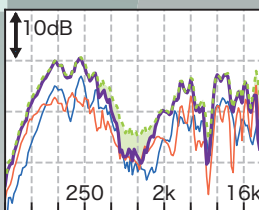
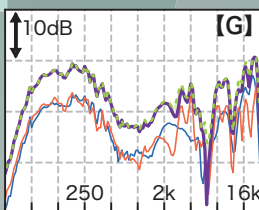
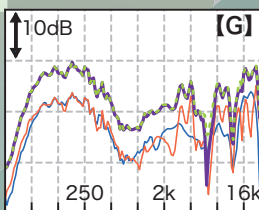
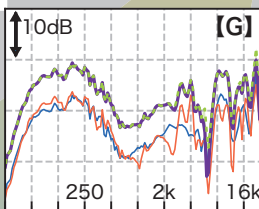
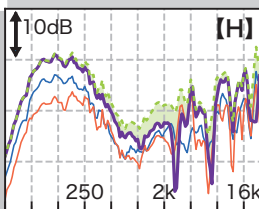
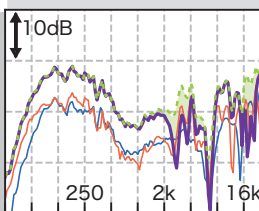
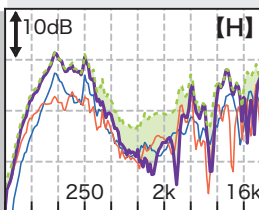
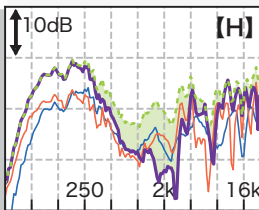
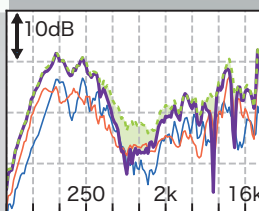
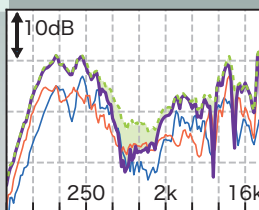
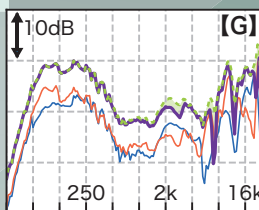
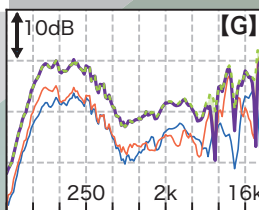
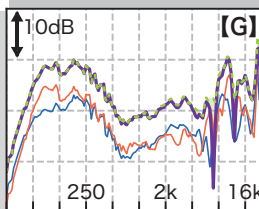
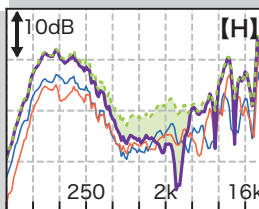
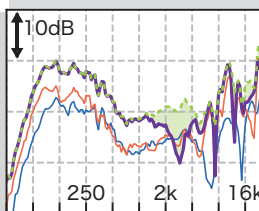
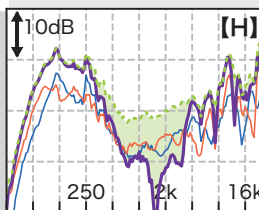
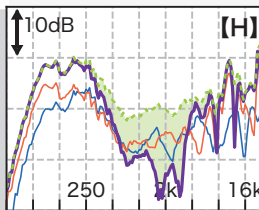
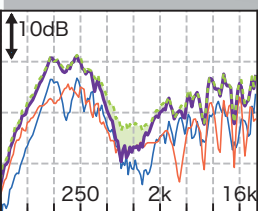
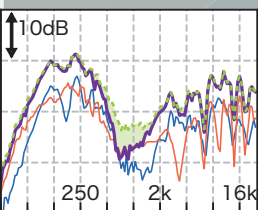
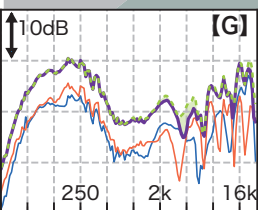
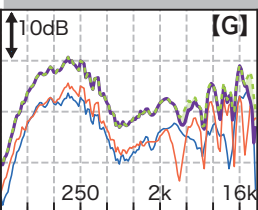
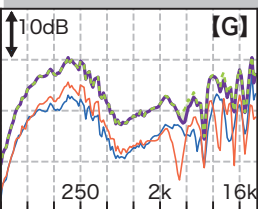
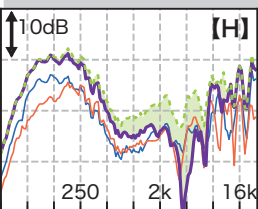
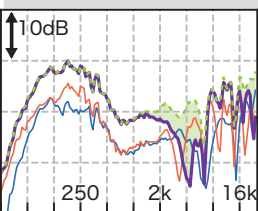
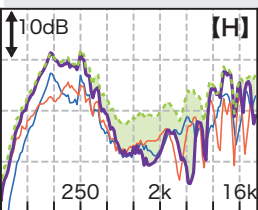
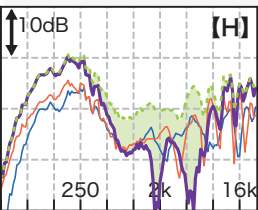
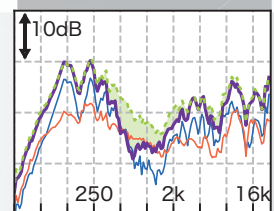
ま：**8**、**9** は天井へのインストールを想定した 3way の「く」の字タイプ。他の 3way と組み合わせると 2kHz～8kHz あたりに干渉が！イーデ隊員、何かが起きているでげす〜。

イーデ：なんやろか・・・。2way との組み合わせと比較すると 3way モデルでは 250Hz～2kHz の位相干渉は回避できているデス・・・（ワイの計算に間違いはないはずなんや！）【F】

イケ麺：特殊な形状同士 **8+9** は相性がばっちりですね。運命の相手ってかんじです。がーさす！（さすがの意）

り：3way+3way、2way+2way の組み合わせならなんでも OK というわけではなさそうね。チーム力を UP させるには何か工夫が必要なのか？ 次ページへ続く！



1 1000 IW LCR UTOPIA  
3-way in-wall speaker2 1000 IW LCR 6  
3-way in-wall speaker3 1000 IW 6  
2-way in-wall speaker4 300 IW LCR 6  
3-way in-wall speaker5 300 IW 6  
2-way in-wall speaker6 100 IW LCR 5  
2-way in-wall speaker7 100 IW 6  
2-way in-wall speaker8 1000 ICLCR5  
3-way angled in-ceiling speaker9 300 ICLCR5  
3-way angled in-ceiling speaker

え：同軸タイプもクロスオーバーは2wayだから、300seriesと100seriesの2wayタイプと相性が良さそうね。いろいろな組み合わせのバリエーションが考えられそう！【G】

イーデ：3wayタイプと組み合わせるにはひと工夫が必要やデス。このまま使用すると250Hz～4kHzあたりの主要な帯域がごっそり抜けてまう……。Dr. 中原の予言どおり、スピーカー間で音像を動かした時に違和感がありそうやデス。【H】

イケ麺：なるほど。異なるスピーカーを組み合わせるときに前もって合成特性を確認しておくって重要なことなんですね。

り：一見すると全部同じグラフのようだけど、観察するとそれぞれ特徴が見えるものね。ここまできたら全部見なくなってきたわ。

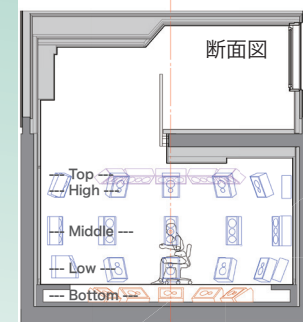
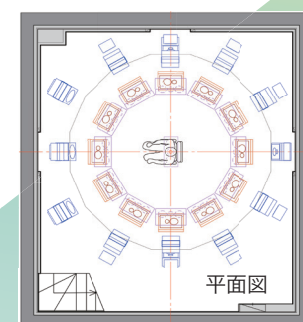
イーデ：イーデーデー♪準備できてるデス。

ま：我々の財産として蓄えておくでげす。Focalを使ったモニター環境の設計は任せてほしいでげす！ふふふ。

え：ところで「吹き抜けのある空間 - MIL Studio -」にインストールされたスピーカーは実際どういう組み合わせで再生されるの？

イケ麺：MIL Studioは62.2チャンネルの4π空間ですよ。

イーデ：Bottom, Low, Middle, High, Topの5レイヤーで構成されてるデス。



ま：Bottomには300 IWLCR6が6台（さらに7台増設可能！）、Lowには現状は低域拡張のためのLow-Boxが12台（これは1000 IW6に入替え可能！）、MiddleのL、C、Rに1000 IWLCR UTOPIA、サラウンドチャンネルには1000 IWLCR6が9台、Highには1000 IWLCR6が12台、Topには1000 IWLCR6が13台でげす！

り：今は6+3+9+12+13+サブウーファー＝43.2チャンネル（+低域拡張Low-Box12台）ってことね。こうしてみるとすごい数……。

イーデ：例えばMiddleレイヤーで方位角方向にパンを振った場合、

【図6】MIL Studioスピーカーレイアウト2Dから3Dへ。夢の4π空間を実現！

## 株式会社ソナ（SONA Corporation）

音響計算から現場施工、そしてシステム設計やモニタ調整まで、スタジオづくりの入口から出口までを自社でまかなっている小さな工務店。防音建具、防振ゴム、音響パネル、特注スピーカ、そして音響シミュレーションや測定システムなど、スタジオをより高性能に設計施工するために重要なものは自社開発するフロンティア精神が伝統。1975年より、レコード会社、映画会社、放送局、ポストプロダクションなどの大手スタジオや、アーティスト、クリエイターなどのパーソナル・スタジオなど、ほとんどの種類のスタジオをユーザーからの直接依頼にてつくり続けている音響工務店、ソナ。

## えりっこ隊長

株式会社ソナ 設計技術部 課長

千葉県出身。趣味は音楽鑑賞とBBQ。分かりやすく現場がスムーズに進行できるように設計を模索しながら日々奮闘中。

## まっつん隊長

株式会社ソナ 設計技術部

茨城県出身。旅行ができないので、自宅でピアノを弾いているが、ピアノから伝わる固体伝搬音が気に入り、防振対策をしようとしている。音響理論を建築に落とし込み、実現させるにはどうすれば良いか日々奮闘中。

## イケイケ・イケウチ製麺隊長

株式会社ソナ 設計技術部

うどん県（香川県）出身。コロナにより里帰り出来ずどん不足です。ピアノや趣味はとりあえず中断... 一級建築士の資格勉強にすべての時間を費やします！次回同じ文章であれば察してください...（笑）

## イーデーデIDE隊長

株式会社ソナ 設計技術部

大阪府出身。ボケ担当。空気中を伝搬する音（ボケ）に対して反射（ツツコミ）、拡散（ノリツツコミ）、吸音（スルー）を駆使し、均整のとれた音空間を実現する術には定評があるスタジオ設計バダワンも4年目。

1000 IWLCR UTOPIAと1000 IWLCR6の組み合わせで再生されるデス。1+2やから相性ばっちりやデス。

え：縦横無尽にパンニングするなら、隣り合うレイヤー同士の組み合わせで再生されることが多いってことかしら。

イケ麺：1+3、2+3、3+4で見られた現象が現実空間で起きる可能性があるってことは……。

イーデ：Middle(3way)とHigh(2way)の間のパンはダメやないか！

【そこで速報】なんと！今回ご紹介した2wayと3wayの組み合わせ問題については、Focal + Media Integration + SONAの合同研究チームにより打開策が見つかったようです。近日、MIL Studioでも実装予定とのこと。2wayと3wayのFocalの組み合わせを御検討の方は、Media IntegrationもしくはSONAまでご相談下さい！

り：次は1/1の世界でMIL Studioの特性を測定して、今回の結果と比較できたらおもしろそうじゃない？

え：そうね。よ～し隊員諸君！いってらっしゃ～い！

## 隊員日報

イ

前回余分に測定した甲斐あって、今回は測定をせずに記事が書けそうやデス。

既読

ま

それでも分析するスピーカーの数が多くて目が回りそうデス。

既読

麺

17台のスピーカーの組み合わせなので、全部で136通りですね。

既読

イ

ワイのプログラミング力でやったるデ。

既読

麺

まさか!?イーデはプログラマーだったのですね!?でもそんなに早くできるはずが…

既読

イ

ワイはプログラ…できたデス。

既読

はい！！！！

ま

<http://www.sona.co.jp>

## 中原雅考

株式会社ソナ 専務取締役 / オンフューチャー株式会社 代表取締役 / 博士（芸術工学）

山口県出身。下関で高校時代を過ごし福岡で音響を学んだ後1995年に上京。「人事を尽くして天命に任ず」が座右の銘。結果よりもプロセスに価値があると思っている。音響設計に関しては、音響知識や経験からのイメージではなく、音響理論を図面上の線に直結させて形を生み出す作業が本来の設計だと考えているが、まだまだその領域には遠い。名言コーナー：100%正しい（ことを言うだけ言の）忠告は、まず役に立たない。（河合隼雄）

## りつこ隊長

株式会社ソナ 設計技術部 課長

長野県出身。趣味は散歩と読書と美術館巡り。「晴耕雨読」が座右の銘です。「理由のあるかたち」をモットーに機能を備えたデザインを探索しています。